Iranian Food Science and Technology Research Journal
Vol. 18, No. 1, Apr. May. 2022, p. 51- 64

نشریه پژوهشهای علوم و صنایع غذایی ایران
جلد ۱۸، شماره ۱، فروردین-اردیبهشت ۱۴۰۱ ص.۶۴-۵۱

Homepage: http://ifstrj.um.ac.ir

Full Research Paper

Quality grading of grapes coated with Farsi gum and hemp seed oil emulsion based on surface defects using RGB and binary images

Mohsen Zandi[1]*, Ali Ganjloo[2], Mandana Bimakr[2], Abolfazl Gharebaghi[2]

Received: 2020.08.23
Accepted: 2020.10.26

How to cite this article:
Zandi, M., Ganjloo, A., Bimakr, M., Gharebaghi, A., (2022). Quality grading of grapes coated with Farsi gum and hemp seed oil emulsion based on surface defects using RGB and binary images. *Iranian Food Science and Technology Research Journal*. *18*(1), 51-64.

Abstract

Introduction: Grape is a non-climacteric fruit with a low rate of physiological activity but is subject to serious physiological and parasitic disorders after harvest and during long term storage (Ciccarese *et al.*, 2013). Currently, Edible coatings have been studied as potential substitutes for conventional plastics in food packaging. Edible coating is a thin layer of edible material formed as a coating on a food product. Edible coating can offer several advantages to the fresh fruit and vegetable industry such as improvement in the retention of color, acids, sugar and flavor components, the maintenance of quality during shipping and storage, the reduction of storage disorders and improved consumer appeal (Antoniou et al., 2015; Cazon et al., 2017; Fakhouri et al., 2015; Galus & Kadzińska, 2015). Farsi gum as a novel source of polysaccharides has drawn much attention in a wide range of various fields such as pharmaceutics, food and cosmetics industries. Functional properties of Farsi gum are influenced by its structure and molecular weight (Hadian et al., 2016; Joukar et al., 2017). By inclusion of bioactive compounds in the Farsi gum network the aforementioned impairments could be overcome and moreover, new protective and functional valences could be added. The inclusion of lipid-based component in Farsi gum gives it excellent light and moisture barrier properties. The benefic impact on human health of hemp seed oil is worldwide recognized. A recent study demonstrated the antimicrobial properties of hemp seed oil. Due to their abundance in biologically active compounds, hemp seed oil is promising natural alternatives that may extend the shelf-life, microbiological safety and nutritional values of food (Cozmuta et al., 2015; Leizer et al., 2000; Salarnia et al., 2018). Growing awareness of the quality of fruit has necessitated increasing effort to develop rapid and non-destructive methods for evaluating fruit quality (Bhargava & Bansal, 2020; Rachmawati et al., 2017; Tao & Zhou, 2017; Wu & Sun, 2013). The aim of this study was the consideration of image processing application for grape sorting based on visual surface characterize.

Materials and Methods: Coating emulsion was prepared using (Farsi gum (0%, 1.5% and 3%), hemp seed oil (0%, 0.075% and 0.15%) and glyceride (0.3%)). grape fruit were coated by immersion in coating dispersion for 5 min. Samples were then allowed to loss the excess coating dispersion. Coatings were developed at room temperature during an hour. Samples were refrigerated at 4± 1°C for 28 days and analyses were performed at days 0 and 28. Defect identification and maturity detection of grape fruits are challenging task for the computer vision to achieve near human levels of recognition. The image acquisition was performed in a homogenously controlled lighting condition. Considering the camera lens's focal length, the samples were placed 25 cm under the camera's field of view. The images of grape were segmented from the background using thresholding of the high contrast images via MATLAB software (R2019a, image processing toolbox). The optimum threshold value was obtained to be 0.35, 0.45 and 0.30 for R, G and B channel, respectively.

Results and Discussion: The proposed techniques can separate between the defected and the healthy grape fruits, and then detect and classify the actual defected area. Classification is performed in two manners which in the first one, an

1, 2 and 3. Assistant Professor, Associate Professor, and Bachelor graduate student, Department of Food Science and Engineering, Faculty of Agriculture, University of Zanjan, Zanjan 45371-38791, Iran.
(*Corresponding author Email: zandi@znu.ac.ir)
DOI: 10.22067/IFSTRJ.V18I1.88305

input grape is classified with two different algorithms (RGB and binary). The Result showed that the accuracies for detecting the surface defects on grape were 97.73% and 96.30% using RGB and binary algorithms, respectively. Proposed method can be used to detect the visible defects of coated grape, and to grade the grape in high speed and precision.

Conclusions: The results of this research and similar ones can provide helpful recommendations in grading fruits for fresh consumption. The simplicity and the efficiency of the proposed techniques make them appropriate for designing a low-cost hardware kit that can be used for real applications.

Keywords: Coating**,** Grading, Image processing, Grape, Hemp seed oil, Surface defects.

Iranian Food Science and Technology Research Journal
Vol. 18, No. 1, Apr. May. 2022, p. 51- 64

نشریه پژوهشهای علوم و صنایع غذایی ایران
جلد ۱۸، شماره ۱، فروردین-اردیبهشت ۱۴۰۱ ص.۶۴-۵۱

مقاله علمی-پژوهشی

درجه‌بندی کیفی انگور پوشش‌دهی‌شده با امولسیون صمغ فارسی و روغن شاهدانه بر اساس صدمات سطحی با استفاده از تصاویر RGB و دودویی

محسن زندی[1*]- علی گنجلو[2]- ماندانا بی مکر[2]- ابوالفضل قره‌باغی[3]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۶/۰۲
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۸/۰۵

چکیده

در پژوهش حاضر روش پردازش تصویر جدیدی بر مبنای دو الگوریتم دودویی و RGB با هدف محاسبه میزان صدمات سطحی به‌طور خودکار و انجام درجه‌بندی کیفی ایجاد گردید. ابتدا انگورها با استفاده از فرمولاسیونی از سطوح مختلف صمغ فارسی (صفر، ۱/۵ و ۳ درصد) و روغن شاهدانه (صفر، ۰/۰۷۵ و ۰/۱۵ درصد) و ۰/۳ درصد گلیسرول پوشش‌دهی گردید و در ادامه با اندازه‌گیری میزان صدمات سطحی انگور در روزهای ۱ و ۲۸ به‌صورت دستی (با کمک نرم‌افزار Image j)، ضمن بررسی اثر پوشش در قالب طرح فاکتوریل (طرح پایه کاملاً تصادفی)، عملکرد الگوریتم‌های پیشنهادی نیز ارزیابی گردید. در الگوریتم دودویی پس از پیش‌پردازش تصاویر، تصاویر به تصاویر دودویی تبدیل شدند. در الگوریتم RGB، فرآیند با کمک مقایسه آماری بین مولفه‌های رنگی صورت پذیرفت. پس از حذف دم انگور و محاسبه مناطق معیوب با کمک گشتاور تصویر (مرتبه صفر و اول)، در نهایت بر اساس درصد مناطق معیوب به ۴ درجه کیفی عالی (کمتر از ۵ درصد)، درجه ۱ (بین ۵ تا ۲۰ درصد)، درجه ۲ (بین ۲۰ تا ۳۵ درصد) و درجه ۳ (بیشتر از ۳۵ درصد) درجه‌بندی شد. مشخص شد که از کانال‌های R، G و B با مقدار سطح آستانه ۰/۳۵، ۰/۴۵ و ۰/۳ می‌توان برای فرآیند تشخیص صدمات سطحی استفاده نمود. نتایج نشان داد که هر دو الگوریتم دودویی و RGB توانستند فرآیند محاسبه میزان صدمات سطحی را با صحت بالایی (به‌ترتیب ۹۷/۳۳ و ۹۸/۰۸ درصد) انجام دهند و براساس نتایج ماتریکس درهم‌ریختگی فرآیند درجه‌بندی نیز با صحت بالاتر از ۹۶/۳۰ درصد انجام گرفت. همچنین مشخص شد که پوشش‌دهی با صمغ فارسی و روغن شاهدانه خصوصاً در سطوح پایین سبب کاهش بروز صدمات سطحی طی دوره نگهداری می‌گردد.

واژه‌های کلیدی: پردازش تصویر، صدمات سطحی، انگور، پوشش‌دهی، درجه‌بندی.

مقدمه

انگور از میوه‌های نافرازگرا[4] است که فرایند رسیدن آن با برداشت از درخت متوقف می‌گردد و در نتیجه هنگام برداشت باید کاملاً رسیده باشد. میوه انگور اگرچه پس از برداشت میزان فعالیت فیزیولوژیکی پائینی دارد ولی به هرحال مستعد اختلالات جدی فیزیولوژیکی و میکروبی طی نگهداری طولانی مدت است (Ciccarese *et al.*, 2013; Topalovic & Mikulic-Petkovsek, 2010). از این‌رو استفاده از فرایندهای پس از برداشت مناسب از مهم‌ترین راه‌کارها برای بالا بردن ارزش تجاری و کیفیت این محصولات می‌باشد. روش‌های پس از برداشت بسیاری مانند استفاده از بسته‌بندی‌ها و یا پوشش‌های پلیمری، سردخانه‌های با اتمسفر کنترل شده، مواد شیمیایی و غیره وجود دارد که یا هزینه‌بر هستند و یا برای سلامتی انسان و محیط زیست مضر می‌باشند؛ اما اخیراً محققان بر استفاده از مواد پلیمری طبیعی به عنوان ماده اولیه برای پوشش خوراکی[5] متمرکز شده‌اند (Vargas & González-Martínez, 2010)؛ استفاده از این مواد به‌عنوان پوشش‌های خوراکی طبیعی روشی کم‌هزینه، کم‌خطر و تاثیرگذار در کاهش سرعت واکنش‌های تخریبی ویژگی‌های کیفی محصولات کشاورزی است (Cazon et al., 2017).

پوشش‌های خوراکی طبیعی شامل پروتئین‌ها، پلی‌ساکاریدها، لیپیدها و یا مخلوطی از آنها هستند که از منابع گیاهی و حیوانی به‌دست می‌آیند و به‌صورت لایه‌ای نازک روی محصول قرار می‌گیرند و با کاهش سرعت خروج رطوبت و شدت تنفس، سبب افزایش عمر انبارمانی و کاهش آسیب به کیفیت محصول می‌گردند (Salehi, 2019). استفاده از پلی‌ساکاریدها از جمله مشتقات سلولز، کیتوزان، نشاسته و صمغ‌ها به‌عنوان مواد اولیه برای تهیه فیلم‌ها و پوشش‌های خوراکی گزارش شده است (Salehi, 2020). صمغ فارسی که ترشحات

۱، ۲ و ۳- به‌ترتیب استادیار، دانشیار و دانش‌آموخته کارشناسی، گروه علوم و مهندسی صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زنجان، زنجان ۳۸۷۹۱-۴۵۳۷۱، ایران.
(* ایمیل نویسنده مسئول: Zandi@znu.ac.ir)

DOI: 10.22067/IFSTRJ.V18I1.88305
4 Climacteric
5 Edible coating

آرابینوگالاکتان[1] موجود در پوسته درخت بادام است از دو بخش محلول در آب (۳۰-۲۵ درصد) و نامحلول (۷۵-۷۰ درصد) تشکیل شده است که قسمت محلول قادر به تشکیل محلول شفاف با چسبندگی مناسب برای کاربرد به‌عنوان پوشش خوراکی است (Hadian *et al*., 2016; Khalesi *et al*., 2016). استفاده از صمغ فارسی به‌عنوان پوشش برای موز (Shahbazi & Shavisi, 2020)، پرتقال (Khorram *et al*., 2017) و فیله ماهی قزل‌آلا (Dehghani *et al*., 2018; Joukar *et al*., 2017) گزارش شده است. پوشش‌های خوراکی بر پایه پلی‌ساکاریدها اگرچه خواص نفوذناپذیری خوبی نسبت به گازها دارند ولی با این حال خصوصیات نفوذناپذیری ضعیفی در برابر بخار آب دارند. از طرف دیگر لیپیدها نسبت به گازها نفوذناپذیری ضعیف و در برابر بخار آب خصوصیات نفوذناپذیری خوبی دارند (Khorram *et al*., 2017). از این‌رو استفاده از یک ترکیب لیپیدی سبب بهبود خواص پوشش‌های خوراکی بر پایه پلی‌ساکاریدها می‌گردد. روغن شاهدانه به‌عنوان بخش لیپیدی می‌تواند باعث بهبود خصوصیات فیزیکی و ممانعت‌کنندگی[2] پوشش‌های پلی‌ساکاریدی به‌خصوص در برابر نفوذ بخار آب گردد. روغن شاهدانه بیش از ۹۰ درصد اسیدهای چرب غیراشباع (خصوصاً لینولئیک اسید و آلفالینولنیک اسید) و نزدیک به ۱۰ درصد اسیدهای چرب اشباع دارد (Cozmuta *et al*., 2015; Leizer et al., 2000; Salarnia *et al*., 2018). به‌علاوه خواص ضدمیکروبی روغن شاهدانه نیز گزارش شده است (Cozmuta *et al*., 2015). با وجود کاهش سرعت تغییرات فیزیکی‌وشیمیایی و تخریب ویژگی‌های کیفی به سبب اعمال پوشش‌های خوراکی همچنان طیف وسیعی از صدمات و نقایص سطحی حین نگهداری محصولات کشاورزی نظیر انگور به وقوع می‌پیوندد که سبب کاهش کیفیت نهایی می‌گردد (Ciccarese *et al*., 2013)، از این‌رو توجه به روش‌های بررسی غیرمخرب برای تشخیص و کنترل تغییرات سطحی در سردخانه و قبل از عرضه به بازار ضروری است. به علاوه، درجه‌بندی محصولات کشاورزی امری بسیار مهم در نگهداری و عرضه آنها به بازار است و سال‌ها است که این امر از طریق بازرسی بصری انجام می‌پذیرد که به شدت تحت تاثیر خطای انسانی است. بنابراین، دستیابی به روشی سریع، هوشمندانه و غیرمخرب به‌منظور تشخیص کیفیت و درجه‌بندی محصولات کشاورزی ضروری می‌باشد (Bhargava & Bansal, 2020; Wu & Sun, 2013).

در طول دهه گذشته، فناوری پردازش تصویر به در فرآیند بررسی و کنترل کیفیت محصولات کشاورزی نقش داشته است تا با کمک تصاویر RGB و با توجه به روش‌ها و الگوریتم‌های مختلف محاسباتی، ویژگی‌های مورد نیاز استخراج و پردازش گردند (Dorj *et al*., 2017; Hashim *et al*., 2018; Rachmawati *et al*., 2017; Tao & Zhou, 2017). از این روش به‌منظور تشخیص صدمات سطحی میوه‌ها و درجه‌بندی آنها بر این اساس و با کمک الگوریتم‌های مختلف (استخراج رنگ، بافت، لبه، یا ویژگی‌های شکلی) توسط محققان مختلف به‌طور موفقیت‌آمیزی استفاده شده است. در همین راستا تشخیص عیوب و صدمات سطحی میوه زیتون با کمک دو الگوریتم مبتنی بر استخراج عیوب سطحی با اندازه‌گیری میزان تفاوت بین پیکسل‌ها و اندازه‌گیری یکنواختی بافت و تجزیه و تحلیل بافت توسط Hassan و Nashat (۲۰۱۸) انجام پذیرفت. این سیستم توانست با درجه صحت بالایی فرآیند درجه‌بندی و اندازه‌گیری عیوب سطحی را انجام دهد. Hashim و همکاران (۲۰۱۸) روشی را برای ارزیابی کیفی موز با استفاده از تجزیه و تحلیل بافت تصویر و درجه‌بندی با کمک شبکه عصبی مصنوعی ارائه دادند. Pordarbani و همکاران (۱۳۸۸) از سیستم بینایی ماشین برای اندازه‌گیری عیوب سطحی و درجه‌بندی سیب استفاده نمودند و توانستند این عملیات را با دقت کلی ۹۵/۲۳ درصد انجام دهند. Khan و همکاران (۲۰۱۹) یک روش بهینه برای درجه‌بندی سیب بر اساس بیماری‌های سطحی آن ارائه دادند که این روش با انتخاب ویژگی‌ها توسط الگوریتم ژنتیک تشخیص بیماری سطحی را با دقت ۹۷/۷۹ درصد انجام داد. Golzarian و همکاران (۱۳۹۵) آسیب‌های سطحی ناشی از صدمات مکانیکی میوه انبه رقم کلک سرخ با استفاده از استخراج ویژگی‌های رنگی در دو مدل RGB و CIELAB را با دقت بیش از ۹۰ درصد تشخیص دادند. Moallem و همکاران (۲۰۱۷) توانستند با استفاده از ویژگی‌های آماری، بافتی و هندسی مستخرج از تصویر و با کمک شبکه عصبی پرسپترون چند لایه[3] عیوب سطحی در سیب را با کارآیی بیش از ۸۹/۲۰ درصد تشخیص دهند. Dorj و همکاران (۲۰۱۷) از ویژگی‌های رنگی برای درجه‌بندی مرکبات با استفاده از روش بخش‌بندی آب‌پخشان[4] با ضریب همبستگی ۰/۹۳ استفاده نمودند. عیوب ظاهری سیب با کمک الگوریتم بخش‌بندی تصویر رنگی K-mean توسط Chithra و Henila (۲۰۱۷) با صحت بالاتر از ۹۱ درصد تشخیص داده شد. در پژوهشی دیگر شناسایی عیوب ظاهری و تشخیص درجه رسیدگی میوه انبه با استفاده از تجزیه و تحلیل تصویر و با کمک سه فضای رنگی RGB، HSI و CIELAB با دقت بالای ۹۱ درصد انجام پذیرفت (Sahu & Potdar, 2017). با توجه به اینکه امروزه در بسیاری از موارد کنترل کیفیت ظاهری و درجه‌بندی انگور طی نگهداری و عرضه به بازار به کمک نیروی انسانی متخصص انجام می‌شود و این عمل مستلزم صرف وقت و هزینه زیادی است؛ از این‌رو شناسایی تغییرات بصری میوه انگور و درجه‌بندی آن با استفاده از روش‌های پردازش تصویر از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. لذا هدف از

1 Arabinogalactan
2 Inhibition
3 Multi-Layer Perceptron
4 Watershed

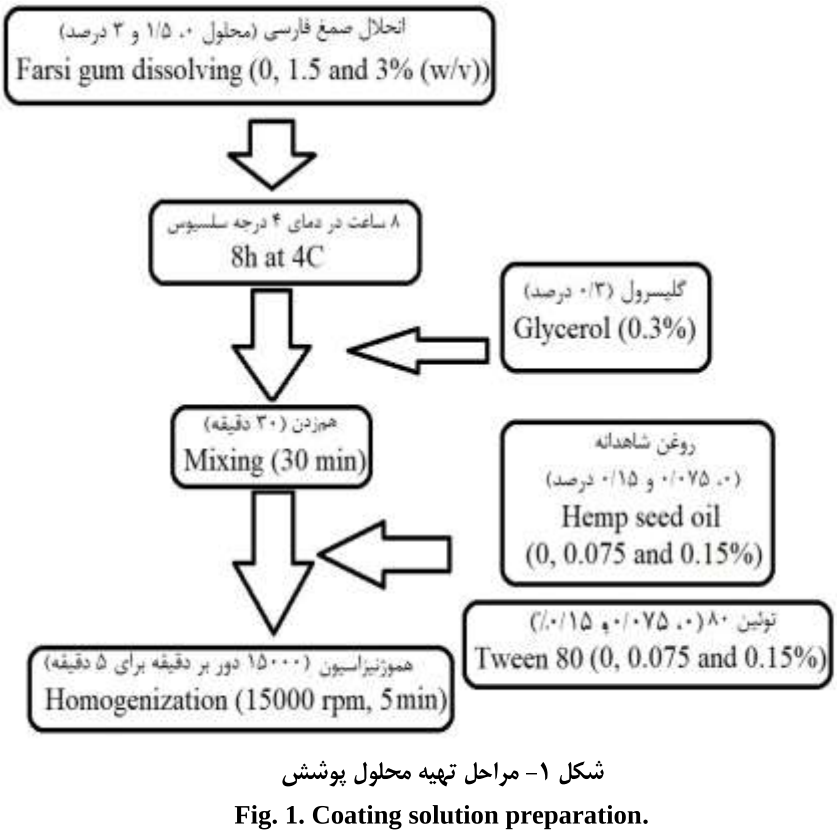
انجام پژوهش حاضر تشخیص و شناسایی صدمات سطحی میوه انگور پوشش‌دار شده با صمغ فارسی حاوی روغن شاهدانه و درجه‌بندی کیفی آن است تا در صورت عملیاتی‌شدن این گونه تحقیقات، روش سریع، دقیق و غیرمخربی برای استفاده در سردخانه‌ها و مراکز توزیع ایجاد گردد.

مواد و روش‌ها

صمغ فارسی از فروشگاه گیاهان دارویی (زنجان، ایران) خریداری و به‌وسیله یک آسیاب برقی (پارس‌خزر، ایران) پودر شد. پودر صمغ فارسی پس از جمع‌آوری از الک با مش ۳۵ گذارنده و برای تولید پوشش استفاده شد. خوشه‌های تازه انگور (رقم خلیلی سفید) از بازار محلی (زنجان، ایران) خریداری شد. خوشه‌های سالم، تقریبا یک اندازه و عاری از هرگونه صدمه دیدگی یا عفونت قارچی جداسازی و ابتدا با آب آشامیدنی شسته شدند و سپس برای حذف آلودگی سطحی به مدت ۱۵ دقیقه در محلول هیپوکلریت سدیم ۰/۱ درصد (وزنی/ حجمی) غوطه‌ور گردیدند؛ خوشه‌ها در نهایت با آب مقطر شستشه شدند (Ganjloo *et al.*, 2020) و آب سطحی آن در دمای اتاق (۲۵ درجه سلسیوس) خشک گردیدند.

تهیه پوشش خوراکی و پوشش‌دار کردن نمونه‌ها

به‌منظور تهیه محلول پوشش‌دهی (شکل ۱)، مقادیر صفر، ۱/۵ و ۳ گرم صمغ فارسی به‌طور جداگانه به ۱۰۰ میلی‌لیتر آب مقطر اضافه گردید و به مدت ۳ ساعت در دمای اتاق با استفاده از یک همزن مغناطیسی (PIT300، پل ایده پارس، ایران) همزده شد. محلول‌های صمغ فارسی به مدت یک شب در دمای ۴ درجه سلسیوس نگهداری گردید (Joukar *et al.*, 2017) تا به‌طور کامل آب‌گیری (هیدارسیون)[1] شود. پس از آن، ۰/۳ درصد (وزنی/ حجمی) گلیسرول به‌عنوان پلاستی‌سایزر (نرم‌کننده)[2] به محلول‌های صمغ فارسی اضافه گردید و به مدت ۳۰ دقیقه در دمای اتاق با همزن مغناطیسی همزده شدند. در ادامه مقادیر مختلفی از روغن شاهدانه (صفر، ۰/۰۷۵ و ۰/۱۵ درصد وزنی/ حجمی) به محلول اضافه و به مدت ۳۰ دقیقه همزده شد. توئین ۸۰ (سیگما، آمریکا) به‌عنوان امولسیون‌کننده[3] قبل از افزودن روغن شاهدانه در مقداری مشابه با روغن شاهدانه به محلول اضافه گردید. در نهایت امولسیون‌های مورد نظر توسط دستگاه هموژنایزر (MTOPS-SR30، کره جنوبی) با سرعت ۱۵۰۰۰ دور بر دقیقه به مدت ۵ دقیقه تهیه شدند. محلول‌های پوشش‌دهی مورد آزمون در جدول ۱ نشان داده شده است.



شکل ۱- مراحل تهیه محلول پوشش

Fig. 1. Coating solution preparation.

1 Hydration
2 Plasticizer
3 Emulsifier

خوشه‌های انگور به مدت ۵ دقیقه در دمای اتاق درون محلول‌های پوشش‌دهی غوطه‌ور گردیدند و سپس خوشه‌های پوشش‌دار شده با استفاده از انبر استریل از محلول‌های پوشش‌دهی خارج شدند. فرآیند پوشش‌دهی پس از گذشت ۲ دقیقه مجددا تکرار گردید. خوشه‌های انگور به منظور حذف محلول اضافی روی توری‌های فلزی تمیز پهن و تا خشک شدن کامل پوشش (حداقل به مدت ۱ ساعت) در دمای اتاق نگهداری شدند. در نهایت خوشه‌های انگور پوشش‌دار شده به صورت یک لایه در ظروف پلی‌پروپیلن و در دمای ۱ ±۴ درجه سلسیوس با رطوبت نسبی ۶۵ درصد به مدت ۲۸ روز نگهداری گردید. محلول شماره ۱ در حقیقت تیمار شاهد می‌باشد که فاقد روغن شاهدانه و صمغ فارسی است.

جدول ۱- فرمولاسیون محلول‌های پوشش‌دهی

Table 1- Coating solution formulations

No	Farsi gum (%W/V) صمغ فارسی (درصد (وزنی/حجمی))	Glycerol (%W/V) گلیسرول (درصد (وزنی/حجمی))	Hemp seed oil (%(W/V) روغن شاهدانه (درصد (وزنی/حجمی))
1	0	0.03	0
2	0	0.03	0.075
3	0	0.03	0.15
4	1.5	0.03	0
5	1.5	0.03	0.075
6	1.5	0.03	0.15
7	3	0.03	0
8	3	0.03	0.075
9	3	0.03	0.15

سیستم پردازش تصویر

سیستم پردازش تصویر در این پژوهش به‌منظور تشخیص تغییرات در حبه انگور طی نگهداری استفاده گردید. این سیستم شامل فرایندهای عکس‌برداری، پیش‌پردازش و فرایند استخراج ویژگی (ویژگی‌های رنگی و بافتی) از تصویر است.

عکس‌برداری

عکس‌برداری با کمک یک محفظه عکس‌برداری مجهز به سیستم نورپردازی شامل دو لامپ SMD با زاویه ۴۵ درجه (۱۵ وات، مهتابی) و یک پنل LED مهتابی (۲۰ وات) انجام پذیرفت. نورپردازی به‌گونه‌ای صورت گرفت تا از تشکیل سایه، نقاط متمرکز نوری و هرگونه نویز در تصویر جلوگیری شود. عکس‌برداری در یک پس زمینه به رنگ سفید انجام شد. تصاویر خام در طیف مرئی و با استفاده از دوربین سونی (DSC-H5، ژاپن) با فاصله کانونی ۱۸ میلی‌متری گرفته شد. با توجه به فاصله کانونی لنز در دوربین و به‌منظور قرارگیری کامل حبه‌های انگور در حوزه دید دوربین و سهولت در تجزیه و تحلیل تصاویر، فاصله ۲۵ سانتی‌متری بین نمونه و دوربین در نظر گرفته شد. دوربین به‌صورت عمود بر حبه‌های انگور قرار گرفت و تصاویر خام با فرمت TIFF و وضوح ۲۳۰۴ ×۳۰۷۲ و با قدرت تفکیک ۰/۰۳ میلی‌متر در هر پیکسل به‌دست آمد. در مجموع ۲۰۰ تصویر از ۱۰۰ حبه انگور در روزهای صفر و ۲۸ تهیه گردید.

بخش‌بندی و جداسازی تصویر

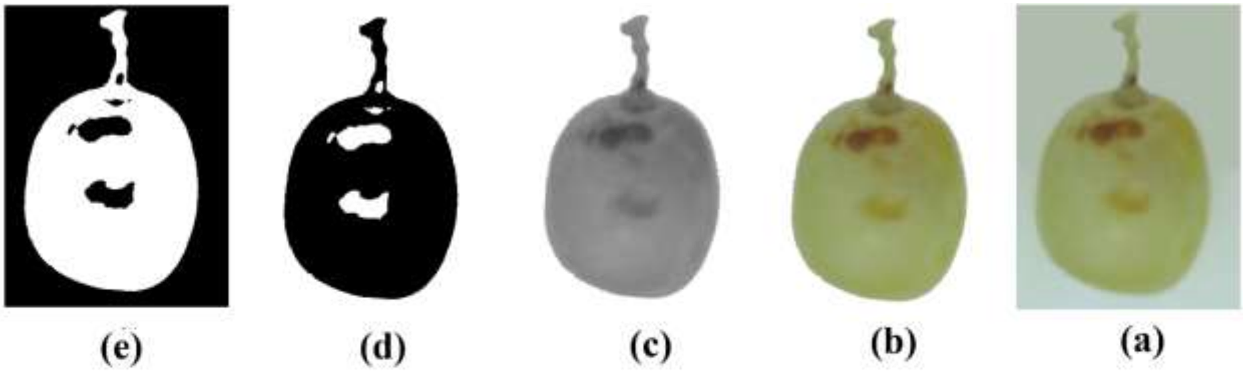
در ادامه از دو الگوریتم جهت جداسازی نواحی معیوب از نواحی سالم استفاده گردید. تمامی مراحل پیش‌پردازش، پردازش، استخراج ویژگی‌ها و طبقه‌بندی با کمک جعبه ابزار پردازش تصویر نرم افزار Matlab R2019a (Mathworks، ایالات متحده آمریکا) انجام گردید و از نرم‌افزار ImagJ (NHI، ایالات متحده آمریکا) برای محاسبه دستی عیوب و صدمات سطحی استفاده گردید.

الگوریتم بر مبنای تصاویر دودویی[1]

در این الگوریتم ابتدا تصاویر حبه‌های انگور (شکل ۲-a) پیش‌پردازش شدند؛ در مرحله پیش‌پردازش از فیلتر میانه به‌منظور هموارسازی تصویر و حذف نویزهای احتمالی حاصل از انعکاس استفاده گردید. در مرحله بخش‌بندی تصویر[2] ادامه پس‌زمینه به‌منظور تعیین حدود حبه انگور حذف گردید. فرایند حذف پس‌زمینه با اختصاص یک آستانه صورت گرفت (آستانه‌گیری رنگی[3])؛ به‌گونه‌ای که پیکسل‌های با مقادیر کمتر از این آستانه به‌عنوان پس‌زمینه و پیکسل‌های با مقادیر

1 Binary image
2 Image segmentation
3 Color thresholding

بالاتر به‌عنوان حبه انگور در نظر گرفته شد (شکل ۲-b). در ادامه فرآیند، تصاویر از محیط RGB به محیط خاکستری[1] تبدیل شدند (شکل ۲-c). در ادامه، حبه‌های انگور سالم از معیوب تفکیک گردید و مساحت دقیق مناطق آسیب‌دیده یا لکه‌های بافتی نیز مشخص گردید. این فرایند از طریق اندازه‌گیری میزان یکنواختی پیکسل‌ها انجام پذیرفت. در این مرحله تصاویر خاکستری به تصاویر دودویی تبدیل شدند (شکل ۲-d). رنگ لکه‌های انگور قهوه‌ای است که متفاوت از رنگ بافت سالم انگور می‌باشد و همین امر سبب می‌گردد که در تصاویر دودویی این نواحی از بافت سالم تفکیک شوند. برای تبدیل تصاویر خاکستری به تصاویر دودویی نیاز به یک سطح آستانه می‌باشد که این سطح آستانه متغیر است و بستگی به میزان تفاوت بین ناحیه معیوب و ناحیه سالم حبه انگور دارد. به عبارت دیگر، اگر ناحیه معیوب کاملاً مشخص و یکنواخت باشد مقدار سطح آستانه کوچک است و در غیر این صورت این مقدار بزرگ می‌باشد. دقت و عملکرد الگوریتم بخش‌بندی در کیفیت ویژگی‌هایی که از تصاویر استخراج می‌شود و در مراحل بعدی پردازش مورداستفاده قرار می‌گیرند تأثیرگذار است. یکی از روش‌های معمول به‌منظور بخش‌بندی و جداسازی تصویر از زمینه آن، استفاده از آستانه‌گیری با استفاده از هیستوگرام تصویر می‌باشد. با استفاده از هیستوگرام تصویر، می‌توان بهترین حد آستانه را برای جداسازی بدست آورد. سطح آستانه با کمک روش آزمون و خطا و بر اساس اطلاعات موجود از ۱۰۰ نمونه محاسبه گردید. با این سطح آستانه تصاویر خاکستری به تصاویر دودویی با ارزش پیکسل‌های صفر و ۱ تبدیل گردید، به‌طوری‌که ناحیه سالم حبه انگور سیاه است و ناحیه معیوب سفید می‌شود. در نهایت، وارونگی در روی تصویر اعمال گردید تا ناحیه سالم حبه انگور سفید (پیکسل با مقدار عددی ۱) و ناحیه معیوب سیاه (پیکسل با مقدار عددی صفر) مشخص گردد و تصویر مکمل[2] (دودویی وارونه) ایجاد شود (شکل ۲-e).



شکل ۲- (الف) تصویر RGB اولیه، (ب) تصویر پس از حذف پس‌زمینه، (ج) تصویر خاکستری، (د) تصویر دودویی و (ذ) تصویر مکمل.

Fig. 2. (a) RGB image, (b) Image without background, (c) Gray image, (d) Binary image and (e) Complement image.

الگوریتم بر مبنای تصاویر RGB (الگوریتم RGB)

در این الگوریتم و در گام اول میانگین هر کانال رنگی برای قسمت سالم و قسمت معیوب حدود ۵۰ حبه انگور برای تعداد پیکسل مشخص محاسبه گردید. متوسط هر کانال رنگی استخراج شده در جدول ۲ نشان داده شده است. مانند الگوریتم دودویی ابتدا پس‌زمینه تصویر با کمک آستانه‌گیری با استفاده از روش هیستوگرام تصویر حذف گردید. سطح آستانه برای جداسازی ۰/۲ در نظر گرفته شد (شکل ۳-b).

در این مرحله، تصویر حبه انگور از نظر ویژگی‌های بافتی به نواحی سالم و معیوب طبقه‌بندی گردید. این فرآیند با کمک مقایسه آماری بین مولفه‌های رنگی صورت پذیرفت (جدول ۲) و مشخص شد که از کانال‌های R، G و B با مقدار سطح آستانه ۰/۳۵، ۰/۴۵ و ۰/۳ می‌توان برای فرآیند تشخیصی استفاده نمود، این سطح آستانه در هر حقیقت بر اساس شدت رنگ هر کانال و با کمک تصویر ۱۰۰ حبه انگور انتخاب گردید (شکل ۳-c,d). در این حالت ناحیه سالم از ناحیه معیوب با کمک سطح آستانه هر کانال جداسازی گردید. مانند الگوریتم دودویی، وارونگی در روی تصویر اعمال شد تا ناحیه سالم حبه انگور سفید (پیکسل با مقدار عددی ۱) و ناحیه معیوب سیاه (پیکسل با مقدار عددی صفر) مشخص گردد (شکل ۳-e).

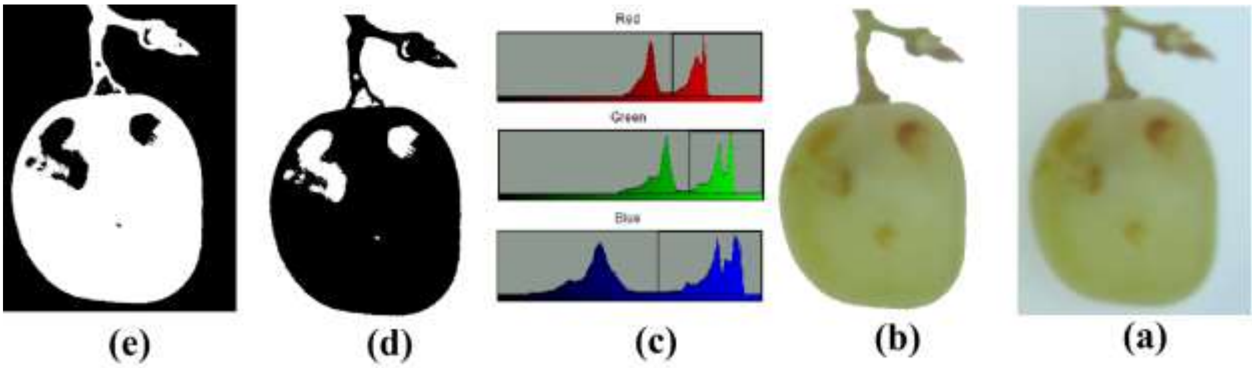
1 Grayscale

2 Complement

جدول ۲- متوسط هر کانال رنگی برای ناحیه سالم و معیوب.

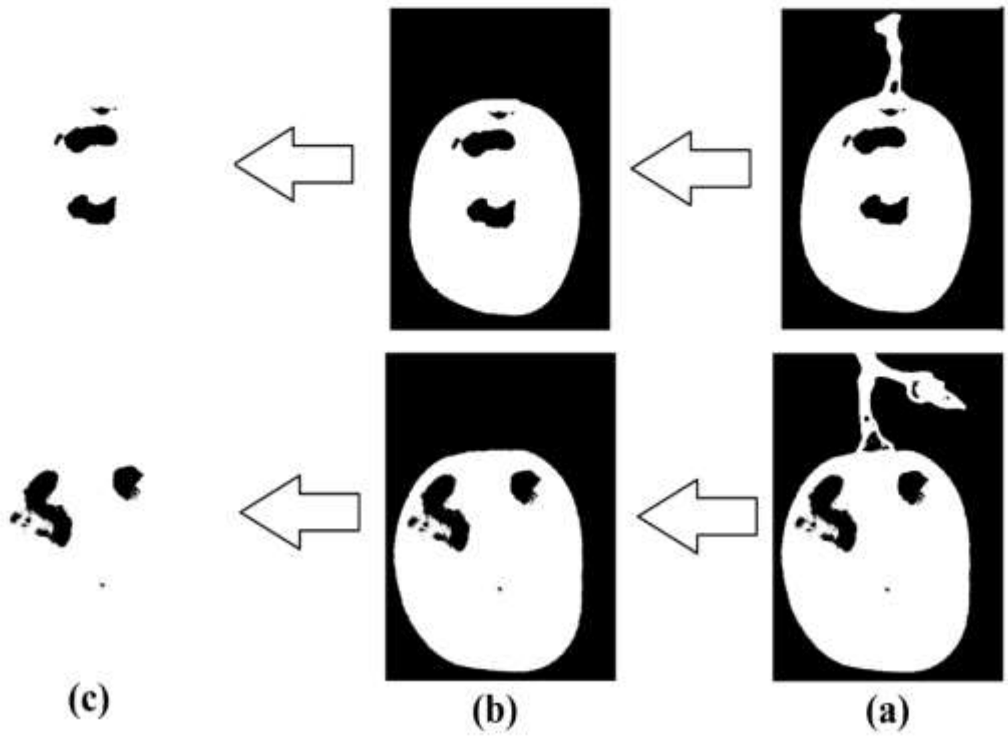
Table 2- Color channel average for intact and defect regions.

Color channel کانال رنگی	Intact region ناحیه سالم	Defected region ناحیه معیوب
R	156.79 ± 1.11	106.53 ± 0.98
G	168.32 ± 4.18	74.11 ± 5.32
B	110.27 ± 7.32	43.51 ± 6.43



شکل ۳- (الف) تصویر RGB، (ب) تصویر پس از حذف پس‌زمینه، (ج) هیستوگرام کانال‌های رنگی R، G و B، (د) تصویر پس از آستانه‌گیری و (ذ) تصویر آستانه‌گیری وارونه.

Fig. 3. (a) RGB image, (b) Image without background, (c) Color channel histogram for RGB channels, (d) Image after thresholding (e) Invers thresholded image.



شکل ٤- (الف) تصویر آستانه‌گیری وارونه، (ب) تصویر پس از حذف دم انگور، (ج) تصویر قسمت معیوب حبه انگور.

Fig. 4. (a) Invers thresholded image, (b) Image after removing the grape tail, (c) Defected region image.

حذف دم از تصویر حبه انگور و جداسازی قسمت‌های معیوب

محاسبه دم انگور به‌عنوان بخشی از کل سطح حبه انگور مشکلی است که در تصاویر خروجی وجود دارد، از این‌رو باید این ناحیه حذف گردد. علت نیز این بوده که حضور دم توسط الگوریتم به‌عنوان بخشی از سطح انگور تلقی می‌شود و سبب ایجاد خطا در محاسبه درصد صحیح صدمات سطحی انگور می‌گردد. از آنجائی‌که دم انگور ناحیه‌ای با ضخامت کم نسبت به حبه انگور است، بنابراین با توجه به نتایج حاصل از بررسی ۱۰۰ حبه انگور، اگر نسبت طول به ضخامت ناحیه‌ای با مقادیر پیکسلی با ارزش ۱ (ناحیه سفید) بیشتر از ۲ باشد، الگوریتم مقدار صفر را جایگزین ارزش پیکسلی آن می‌کند، که این کار سبب حذف دم می‌گردد (شکل ۴–b).

استخراج ویژگی و محاسبه ناحیه معیوب

به‌منظور استخراج ویژگی از گشتاور تصویر (مومنت)[1] استفاده گردید. گشتاور تصویر، میانگین وزنی مشخص (گشتاور) از شدت پیکسل‌های تصویر (و یا تابعی از این گشتاورها) است که معمولاً برای داشتن برخی از ویژگی‌های خاص و یا تفسیر نتایج انتخاب می‌گردد. گشتاور تصویر پس از بخش‌بندی تصویر و به‌منظور توصیف آن استفاده می‌شود تا خصوصیات ساده مثل سطح یا شدت پیکسل به‌دست آید (Sahu & Potdar, 2017). تابع تصویر $f(x,y)$ یک تابع حقیقی و پیوسته است که شامل دو متغیر x و y است و بر این اساس گشتاور تصویر (m_{ij}) به‌صورت زیر تعریف می‌شود (Sahu & Patra, 2015):

$$m_{ij} = \int\int x^i y^j f(x,y)dxdy \qquad (۱)$$

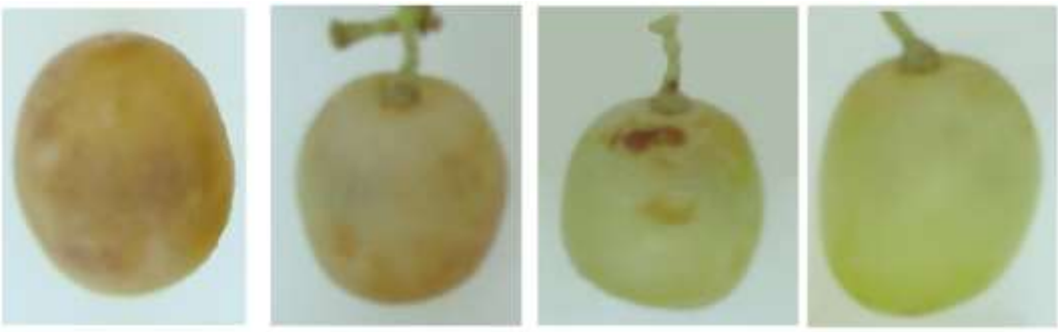
که i و j اعداد صحیح غیر منفی است و $i+j$ هم مرتبه گشتاور است. اگر i و j برابر صفر باشند آنگاه آن را گشتاور مرتبه صفر (m_{00}) می‌نامند که نشان‌دهنده تعداد پیکسل در محدوده تصویر و سطح ناحیه تصویر است (Sahu & Patra, 2015):

$$m_{00} = \int\int f(x,y)dxdy \qquad (۲)$$

محاسبه مرکز حبه انگور با کمک گشتاور مرتبه صفر (m_{00}) و مرتبه اول (m_{10} و m_{01}) صورت پذیرفت و در نهایت از گشتاور مرتبه صفر برای محاسبه سطح کل حبه و سطح قسمت معیوب استفاده گردید. با حذف دم و از آنجائی‌که پس‌زمینه حذف گردیده است، قسمت معیوب کاملا قابل تشخیص می‌گردد (شکل ۴–c). محیط کل با کمک الگوریتم لبه‌یابی[2] مشخص گردید.

درجه‌بندی انگور

به‌این منظور ابتدا با کمک تصویر یک شاخص با مساحت مشخص بر حسب میلی متر مربع، تعداد پیکسل تصویر به میلی‌متر تبدیل شد و سطح بر اساس میلی‌متر مربع محاسبه گردید. این کار باعث تبدیل سطح از پیکسل به میلی‌متر مربع می‌گردد، در ادامه به‌منظور درجه‌بندی از نسبت سطح معیوب به سطح کل حبه انگور استفاده شد. به عبارت دیگر درصد سطح معیوب نسبت به سطح کل محاسبه گردید. بر اساس میزان صدمات سطحی، انگور به ۴ درجه کیفی عالی (با صدمات سطحی کمتر از ۵ درصد)، درجه ۱ (با صدمات سطحی بین ۵ تا ۲۰ درصد)، درجه ۲ (با صدمات سطحی بین ۲۰ تا ۳۵ درصد) و درجه ۳ (با صدمات سطحی بیشتر از ۳۵ درصد) درجه‌بندی گردید (شکل ۵). صحت درجه‌بندی از طریق بررسی چشمی تصویر تمامی ۱۰۰ حبه انگور و استخراج دستی صدمات با کمک نرم‌افزار Image j صورت پذیرفت، در نهایت مساحت ناحیه صدمه‌دیده با ناحیه تشخیصی توسط هر دو الگوریتم نیز مورد مقایسه قرار گرفت.



شکل ۵- درجه‌های کیفی حبه انگور.

Fig. 5. Grape quality grading.

1 Image moment

2 Edge detection

مقایسه عملکرد الگوریتم‌ها

برای مقایسه عملکرد دو الگوریتم دودویی و RGB در تعیین میزان صدمات سطحی و درجه‌بندی انگور بر اساس آن، ابتدا میزان صدمات سطحی به‌صورت دستی و با کمک خط‌کش استاندارد و تصاویر موجود اندازه‌گیری شد و درجه‌بندی چشمی نیز انجام پذیرفت تا صحت تشخیص هر کدام از الگوریتم‌ها مشخص گردد. وضعیت حبه‌های انگور در روزهای صفر و ۲۸ نگهداری به‌منظور بررسی اثر پوشش‌دهی با صمغ فارسی حاوی روغن شاهدانه بر تغییرات سطحی حبه‌های انگور و همچنین دو الگوریتم پیشنهادی جهت شناسایی عیوب سطحی انگور مورد بررسی قرار گرفت.

تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها

مقایسه آماری بین تیمارها، در قالب طرح فاکتوریل با طرح پایه کاملاً تصادفی با حداقل ۳ تکرار انجام گردید. تجزیه واریانس از طریق آنالیز واریانس دو طرفه صورت پذیرفت و از آزمون تعقیبی دانکن به‌منظور مقایسه میانگین‌ها استفاده گردید. آزمون‌ها در سطح آماری α=۰/۰۵ انجام پذیرفت. تجزیه واریانس با کمک نرم‌افزار SPSS (نسخه ۲۶، آمریکا) و برازش داده‌ها با کمک جعبه ابزار برازش داده نرم‌افزار Matlab R2019a (Mathworks، آمریکا) انجام شد.

نتایج و بحث

بررسی عملکرد الگوریتم‌ها در تشخیص صدمات سطحی و درجه‌بندی

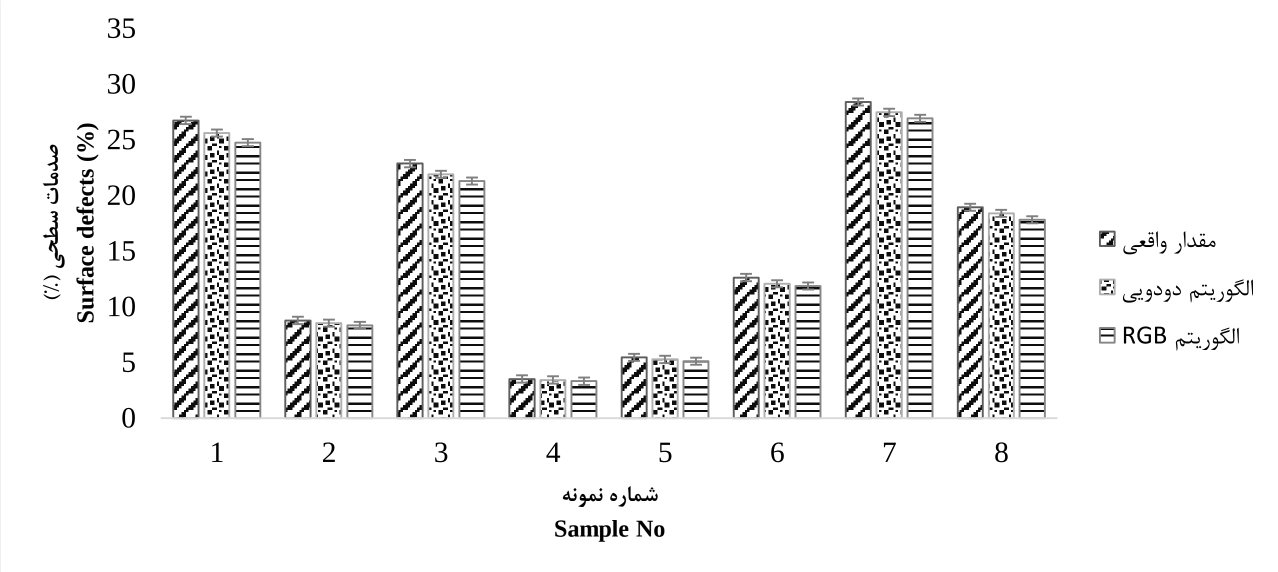
همانطور که در جدول ۳ مشاهده می‌گردد، برای هر کدام از ۲۰۰ تصویر (۱۰۰ حبه انگور در روزهای صفر و ۲۸ نگهداری) میزان صدمات سطحی اندازه‌گیری و با صدمات سطحی به‌دست آمده از هر کدام از الگوریتم‌ها مقایسه گردید. نتایج نشان داد که هر دو الگوریتم توانستند با صحت بسیار بالایی میزان صدمات سطحی را اندازه‌گیری نمایند؛ به‌طوری‌که متوسط صحت اندازه‌گیری الگوریتم‌های دودویی و RGB به‌ترتیب برابر ۹۷/۳۳ و ۹۸/۰۸ درصد بود. اگرچه مقدار عددی صحت الگوریتم RGB بیشتر از دودویی است ولی با این حال قدرت تشخیص دو الگوریتم با هم تفاوت معنی‌داری نداشت (p<۰/۰۵). همچنین بین تیمارهای پوشش‌دهی و زمان نگهداری در میزان صحت تفاوت معنی‌داری وجود نداشت (p<۰/۰۵). شکل ۶ با استفاده از الگوریتم‌های دودویی و RGB میزان صدمات سطحی در برخی از حبه‌های انگور انتخاب شده با شکل‌های مختلف را نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود هر دو الگوریتم بدون در نظر گرفتن شکل یا اندازه موفق به تشخیص صحیح صدمات با دقت بالایی شده‌اند. گام بعدی در جهت درجه‌بندی انگور با استفاده از الگوریتم‌های دودویی و RGB بود؛ تفاوت این الگوریتم‌ها با الگوریتم‌های پیشین پردازش تصویر در سایر پژوهش‌های مشابه عدم درجه‌بندی مستقیم توسط آن‌ها می‌باشد(Bhargava & Bansal, 2020; Chithra & Henila, 2017; Golzarian *et al*., 2017; Hassan & Nashat, 2019; Khan *et al*., 2019; Moallem *et al*., 2017; Pordarbani *et al*., 2009; Rachmawati *et al*., 2017; Sahu & Potdar, 2017; Sahu & Patra, 2015)؛ به‌طوری‌که خروجی الگوریتم میزان صدمات سطحی است و درجه‌بندی بر اساس آن صورت می‌پذیرد که این امر سرعت و دقت درجه‌بندی را افزایش می‌دهد. برای این منظور ۲۰۰ تصویر موجود به صورت تجربی به ۴ درجه کیفی عالی، درجه ۱، درجه ۲ و درجه ۳ تقسیم‌بندی گردید.

جدول ۳- مقایسه صحت دو الگوریتم دودویی و RGB در تعیین درصد صدمات سطحی.

Table 3- Binary and RGB algorithms comparison for surface defect detection.

Treatments تیمار	0 روز ۰		28 روز ۲۸	
	RGB algorithms accuracy (%) صحت الگوریتم RGB (٪)	Binary algorithms accuracy (%) صحت الگوریتم دودویی (٪)	RGB algorithms accuracy (%) صحت الگوریتم RGB (٪)	Binary algorithms accuracy (%) صحت الگوریتم دودویی (٪)
1	95.97	97.24	97.13	98.34
2	96.23	98.16	98.28	97.65
3	98.11	98.47	97.21	99.08
4	96.23	97.39	98.67	98.21
5	98.39	97.21	95.43	98.68
6	97.47	96.91	96.71	97.98
7	96.51	98.47	97.83	98.43
8	98.22	99.05	98.31	96.78
9	97.11	98.56	97.29	97.45
10	98.49	99.15	97.11	98.33
Mean میانگین	98.10±0.96[a]	97.39±0.83[a]	98.06±1.09[a]	97.27±0.96[a]

* میانگین‌ها با حروف انگلیسی متفاوت دارای اختلاف معنی‌دار (p<0.05) می‌باشند.



شکل ٦- میزان صدمات سطحی اندازه‌گیری شده توسط الگوریتم دودویی و RGB برای تصویر چند حبه انگور و مقایسه آن با مقدار واقعی صدمات سطحی اندازه‌گیری شده به صورت دستی.

Fig. 6. Measured surface defects (%) by binary and RGB algorithms, and comparing with actual values.

جدول ٤- ماتریکس درهم‌ریختگی برای نتایج الگوریتم دودویی در درجه‌بندی انگور.

Table 4. The confusion matrix for the results of the binary algorithm in grape grading.

	Grade 1 درجه ۱	Grade 2 درجه ۲	Grade 3 درجه ۳	Grade 4 درجه ٤	Grading accuracy صحت درجه‌بندی
Grade 1	44	2	0	0	95.65
Grade 2	1	50	1	0	96.11
Grade 3	0	1	38	1	95
Grade 4	0	0	1	61	98.39
Mean Grading accuracy میانگین صحت درجه‌بندی					96.30

جدول ٥- ماتریکس درهم‌ریختگی برای نتایج الگوریتم RGB در درجه‌بندی انگور.

Table 4- The confusion matrix for the results of the RGB algorithm in grape grading.

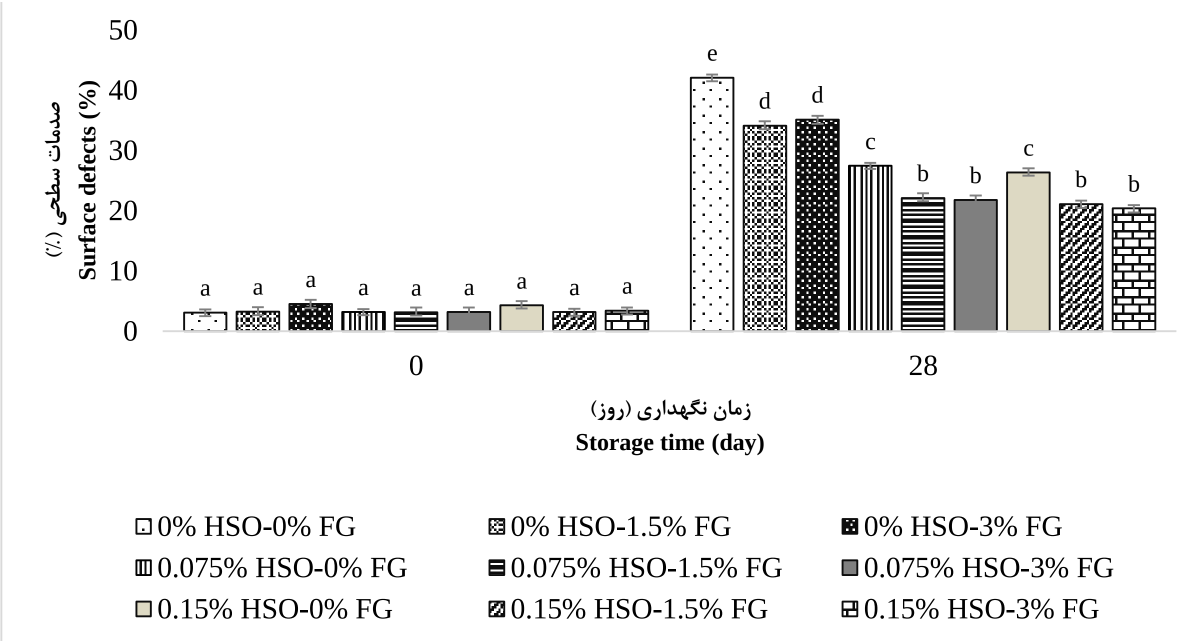
	Grade 1 درجه ۱	Grade 2 درجه ۲	Grade 3 درجه ۳	Grade 4 درجه ٤	Grading accuracy صحت درجه‌بندی
Grade 1	45	1	0	0	97.83
Grade 2	0	51	1	0	98.08
Grade 3	0	2	38	0	95
Grade 4	0	0	0	62	100
Mean Grading accuracy میانگین صحت درجه‌بندی					97.73

در جدول ۴ و ۵ نتایج ماتریکس درهم‌ریختگی به همراه صحت درجه‌بندی هر کدام از الگوها نشان داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌گردد، این الگوریتم‌ها توانستند با صحت بالایی درجه‌بندی را انجام دهند که در این میان الگوریتم RGB (۹۷/۷۳ درصد) نسبت به الگوریتم دودویی (۹۶/۳۰ درصد) صحت طبقه‌بندی بالاتری داشت؛ احتمالاً این امر به سبب استفاده از سه کانال رنگی در ارزیابی و درجه‌بندی کیفی حبه انگور باشد. نتایج نشان‌دهنده عملکرد بسیار خوب هر دو الگوریتم در تشخیص صدمات و درجه‌بندی انگور است؛

الگوریتمی مشابه توسط Golzarian و همکاران (۲۰۱۷) برای درجه‌بندی انبه بر اساس صدمات سطحی توسعه یافت که توانست با دقت ۹۰ درصد (بر مبنای کانال سبز) درجه‌بندی را انجام دهد (Golzarian *et al.*, 2017). نتایج حاصل از درجه‌بندی سیب (Pordarbani *et al.*, 2009)، زیتون (Hassan & Nashat, 2019) و انبه (Sahu & Potdar, 2017) نشان داد که سیستم پردازش تصویر با دقت و صحت بالای قادر به تشخیص عیوب و صدمات سطحی و درجه‌بندی بر اساس آن است.

تاثیر پوشش‌دهی با تیمارهای مختلف بر میزان صدمات سطحی طی نگهداری انگور

نتایج تغییرات سطحی انگور نشان داد که صدمات و عیوب سطحی با افزایش زمان نگهداری از روز صفر تا روز ۲۸ به‌طور معنی‌داری ($p<0.05$) افزایش یافت (شکل ۷). این تغییرات عمدتاً به سبب تغییرات فیزیکی‌وشیمیایی طی نگهداری و نیز فعالیت میکروبی سطحی است (Ciccarese *et al.*, 2013; Topalovic & Mikulic-Petkovsek, 2010). همان‌طور که در شکل ۷ مشاهده می‌گردد تیمارهای که در آن یک سطح حداکثری یا میانی از روغن شاهدانه (۰/۰۷۵ یا ۰/۱۵ درصد) با یک سطح حداکثری یا میانی از صمغ فارسی (۱/۵ یا ۳ درصد) حضور دارد، سبب کاهش سرعت ایجاد عیوب سطحی گردیده است. نتایج نشان داد که با افزایش غلظت روغن شاهدانه میزان صدمات سطحی کاهش یافت. افزایش میزان روغن شاهدانه باعث کاهش نفوذپذیری به بخار آب و ایجاد خواص ضدمیکروبی در پوشش می‌گردد (Salarnia *et al.*, 2018) که این امر سبب کاهش تغییرات فیزیکی‌وشیمیایی و فعالیت میکروبی و در نتیجه کاهش ایجاد صدمات و عیوب سطحی می‌شود. این تاثیر در تغییر سطح روغن از صفر به ۰/۰۷۵ درصد بیشتر است و بین تیمارهای ۰/۰۷۵ و ۰/۱۵ درصد تفاوت معنی‌داری وجود ندارد ($p<0.05$) که احتمالاً به سبب افزایش نفوذپذیری به اکسیژن پوشش با افزایش بیشتر روغن شاهدانه باشد (Salarnia *et al.*, 2018).



شکل ۷- میانگین درصد صدمات سطحی حبه انگور پوشش‌دار شده با تیمارهای مختلف در روزهای صفر و ۲۸.

Fig. 7. Mean surface defects of grape after day of 0 and 28.

افزایش غلظت صمغ فارسی نیز نتایج مشابهی داشت (شکل ۷). با افزایش غلظت صمغ به دلیل خصوصیات چسبندگی خوب صمغ فارسی و ایجاد یک لایه نسبتاً نفوذناپذیر در برابر اکسیژن (Joukar *et al.*, 2017; Shahbazi & Shavisi, 2020) سرعت ایجاد تغییرات فیزیکی‌وشیمیایی و فعالیت‌های میکروبی کاهش یافت و در نتیجه میزان صدمات سطحی نیز به‌طور معنی‌داری کمتر بود ($p<0.05$).

نتیجه‌گیری

هدف از پژوهش حاضر اندازه‌گیری صدمات سطحی انگور تحت تیمارهای مختلف از طریق پردازش تصویر و درجه‌بندی کیفی آن بود. نتایج نشان داد که الگوریتم‌های ایجاد شده قادر به محاسبه میزان صدمات سطحی با صحت بالای ۹۷ درصد بودند و این در حالی است که تفاوت معنی‌داری در قدرت تشخیص دو الگوریتم وجود نداشت

(p<۰/۰۵). اگرچه قدرت طبقه‌بندی گوریتم RGB (۹۷/۷۳ درصد) نسبت به الگوریتم دودویی (۹۶/۳۰ درصد) از نظر آماری بیشتر بود (p<۰/۰۵) ولی نتایج حاصل از ماتریکس درهم‌ریختگی نشان داد که هر دو روش قادر به درجه‌بندی انگور با صحت بالایی بودند. نتایج حاصل از تاثیر تیمار پوشش‌دهی بر کاهش صدمات سطحی میوه انگور حاکی از این بود که با افزایش غلظت روغن شاهدانه (به دلیل اثرات ضدمیکروبی آن) و صمغ فارسی (به دلایل تشکیل پوشش ضخیم‌تر در سطح میوه) از سرعت ایجاد صدمات و عیوب سطحی طی نگهداری کاسته می‌شود. قدرت تشخیصی بالای الگوریتم ایجاد شده این امکان را برای استفاده صنعتی آن در سرخانه برای فرایندهای تشخیصی، کنترلی و درجه‌بندی فراهم می‌آورد و با توجه به شباهت خانواده برخی تمشک‌ها می‌توان در آینده این الگوریتم برای دسته از میوه‌ها هم مورد بررسی قرار داده شود.

تشکر و قدردانی

مقاله حاضر حاصل از پروژه کارشناسی و طرح پژوهشی مصوب گروه علوم و مهندسی صنایع غذایی دانشگاه زنجان با عنوان "استفاده از سامانه‌های میکروامولسیون و نانوامولسیون حاوی صمغ فارسی و روغن شاهدانه برای نگهداری انگور (بهینه سازی، مدل‌سازی و پردازش تصویر)" مورخ ۱۳۹۸/۰۷/۱۵ می‌باشد. از دانشکده کشاورزی دانشگاه زنجان که با فراهم آوردن امکانات تحقیق، ما را یاری نمودند، سپاسگزاری می‌نمایم.

منابع

1. Antoniou, J., Liu, F., Majeed, H., & Zhong, F. (2015). Characterization of tara gum edible films incorporated with bulk chitosan and chitosan nanoparticles: A comparative study. *Food Hydrocolloids, 44*, 309-319. https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2014.09.023
2. Bhargava, A., & Bansal, A. (2020). Automatic Detection and Grading of Multiple Fruits by Machine Learning. *Food Analytical Methods, 13*(3), 751-761. https://doi.org/10.1007/s12161-019-01690-6
3. Cazon, P., Velazquez, G., Ramírez, J. A., & Vazquez, M. (2017). Polysaccharide-based films and coatings for food packaging: A review. *Food Hydrocolloids, 68* 136-148. https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2016.09.009
4. Chithra, P., & Henila, M. (2017). Defect identification in the fruit apple using k-means color image segmentation algorithm. *International Journal of Advanced Research in Computer Science, 8*(8).
5. Ciccarese, A., Stellacci, A. M., Gentilesco, G., & Rubino, P. (2013). Effectiveness of pre-and post-veraison calcium applications to control decay and maintain table grape fruit quality during storage. *Postharvest Biology and Technology, 75*, 135-141. https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2012.08.010
6. Cozmuta, A. M., Turila, A., Apjok, R., Ciocian, A., Cozmuta, L. M., Peter, A., Nicula, C., Galić, N., & Benković, T. (2015). Preparation and characterization of improved gelatin films incorporating hemp and sage oils. *Food Hydrocolloids, 49*, 144-155. https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2015.03.022
7. Dehghani, P., Hosseini, S. M. H., Golmakani, M.-T., Majdinasab, M., & Esteghlal, S. (2018). Shelf-life extension of refrigerated rainbow trout fillets using total Farsi gum-based coatings containing clove and thyme essential oils emulsions. *Food Hydrocolloids, 77*, 677-688. https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2017.11.009
8. Dorj, U.-O., Lee, M., & Yun, S.-s. (2017). An yield estimation in citrus orchards via fruit detection and counting using image processing. *Computers and electronics in agriculture, 140*, 103-112. https://doi.org/10.1016/j.compag.2017.05.019
9. Fakhouri, F. M., Martelli, S. M., Caon, T., Velasco, J. I., & Mei, L. H. I. (2015). Edible films and coatings based on starch/gelatin: Film properties and effect of coatings on quality of refrigerated Red Crimson grapes. *Postharvest Biology and Technology, 109*, 57-64. https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2015.05.015
10. Galus, S., & Kadzińska, J. (2015). Food applications of emulsion-based edible films and coatings. *Trends in Food Science & Technology, 45*(2), 273-283. https://doi.org/10.1016/j.tifs.2015.07.011
11. Ganjloo, A., Zandi, M., Bimakr, M., & Monajem, S. (2020). Ripening Stages Control of Cherry Tomato Coated with Aloe Vera Gel using Artificial Vision System (In persian). *Food Science and Technology, 17*(105), 135-149. DOI: 10.52547/fsct.17.105.135
12. Golzarian, M., Shamili, M., Doosti Irani, O., & Azarkish, P. (2017). Detection of surface defects caused by mechanical damages on Mangos of Kelk-e Sorkh variety with the use of color image processing. *Iranian Food Science and Technology Research Journal (IFSTRJ), 12*(5), 652-662.
13. Hadian, M., Hosseini, S. M. H., Farahnaky, A., Mesbahi, G. R., Yousefi, G. H., & Saboury, A. A. (2016). Isothermal titration calorimetric and spectroscopic studies of β-lactoglobulin-water-soluble fraction of Persian gum interaction in aqueous solution. *Food Hydrocolloids, 55*, 108-118. https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2015.11.006
14. Hashim, N., Adebayo, S. E., Abdan, K., & Hanafi, M. (2018). Comparative study of transform-based image texture analysis for the evaluation of banana quality using an optical backscattering system. *Postharvest Biology and Technology, 135*, 38-50. https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2017.08.021

15. Hassan, N. M. H., & Nashat, A. A. (2019). New effective techniques for automatic detection and classification of external olive fruits defects based on image processing techniques. *Multidimensional Systems and Signal Processing*, *30*(2), 571-589. https://doi.org/10.1007/s11045-018-0573-5
16. Joukar, F., Hosseini, S. M. H., Moosavi-Nasab, M., Mesbahi, G. R., & Behzadnia, A. (2017). Effect of Farsi gum-based antimicrobial adhesive coatings on the refrigeration shelf life of rainbow trout fillets. *LWT*, *80*, 1-9. https://doi.org/10.1016/j.lwt.2017.01.074
17. Khalesi, H., Emadzadeh, B., Kadkhodaee, R., & Fang, Y. (2016). Whey protein isolate-Persian gum interaction at neutral pH. *Food Hydrocolloids*, *59*, 45-49. https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2015.10.017
18. Khan, M. A., Lali, M. I. U., Sharif, M., Javed, K., Aurangzeb, K., Haider, S. I., Altamrah, A. S., & Akram, T. (2019). An optimized method for segmentation and classification of apple diseases based on strong correlation and genetic algorithm based feature selection. *IEEE Access*, *7*, 46261-46277. DOI: 10.1109/ACCESS.2019.2908040
19. Khorram, F., Ramezanian, A., & Hosseini, S. M. H. (2017). Shellac, gelatin and Persian gum as alternative coating for orange fruit. *Scientia Horticulturae*, *225*, 22-28. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2017.06.045
20. Leizer, C., Ribnicky, D., Poulev, A., Dushenkov, S., & Raskin, I. (2000). The composition of hemp seed oil and its potential as an important source of nutrition. *Journal of Nutraceuticals, functional & medical foods*, *2*(4), 35-53. https://doi.org/10.1300/J133v02n04_04
21. Moallem, P., Serajoddin, A., & Pourghassem, H. (2017). Computer vision-based apple grading for golden delicious apples based on surface features. *Information processing in agriculture*, *4*(1), 33-40. https://doi.org/10.1016/j.inpa.2016.10.003
22. Pordarbani, R., Gasemzadeh, H. R., Golzadeh, A. A., & Behfar, H. (2009). Feasibility Study of Apple Quality Grading Using Image Processing. *Journal of Food Research*, *19*(1), 75-85.
23. Rachmawati, E., Supriana, I., & Khodra, M. L. (2017, September). Toward a new approach in fruit recognition using hybrid RGBD features and fruit hierarchy property. In *2017 4th International Conference on Electrical Engineering, Computer Science and Informatics (EECSI)* (pp. 1-6). IEEE.
24. Sahu, D., & Potdar, R. M. (2017). Defect identification and maturity detection of mango fruits using image analysis. *American Journal of Artificial Intelligence*, *1*(1), 5-14.
25. Sahu, U. K., & Patra, D. (2015, December). Shape features for image-based servo-control using image moments. In *2015 Annual IEEE India Conference (INDICON)* (pp. 1-6). IEEE.
26. Salarnia, M., Ganjloo, A., Emam-Djomeh, Z., & Bimakr, M. (2018). Physical, Barrier and Antimicrobial Properties of Sodium Caseinate-based Edible Film Containing Hemp Seed oil (in persian). *journal of Innovative Food Technologies (JIFT)*, *5*(3), 485-497. DOI: 10.22104/jift.2018.2607.1617
27. Salehi, F. (2019). Characterization of new biodegradable edible films and coatings based on seeds gum: A review. *Journal of Packaging Technology and Research*, 1-9. https://doi.org/10.1016/j.tifs.2019.11.011
28. Salehi, F. (2020). Effect of coatings made by new hydrocolloids on the oil uptake during deep- fat frying: A review. *Journal of Food Processing and Preservation*, e14879. https://doi.org/10.1111/jfpp.14879
29. Shahbazi, Y., & Shavisi, N. (2020). Application of active Kurdi gum and Farsi gum-based coatings in banana fruits. *Journal of Food Science and Technology*, 1-11. https://doi.org/10.1007/s13197-020-04462-x
30. Tao, Y., & Zhou, J. (2017). Automatic apple recognition based on the fusion of color and 3D feature for robotic fruit picking. *Computers and electronics in agriculture*, *142*, 388-396. https://doi.org/10.1016/j.compag.2017.09.019
31. Topalovic, A., & Mikulic-Petkovsek, M. (2010). Changes in sugars, organic acids and phenolics of grape berries of cultivar Cardinal during ripening. *J Food Agric Environ*, *8*(3&4), 223-227.
32. Vargas, M., & González-Martínez, C. (2010). Recent patents on food applications of chitosan. *Recent patents on food, nutrition & agriculture*, *2*(2), 121-128.
33. Wu, D., & Sun, D.-W. (2013). Colour measurements by computer vision for food quality control–A review. *Trends in Food Science & Technology*, *29*(1), 5-20. https://doi.org/10.1016/j.tifs.2012.08.004